

鉄筋を内蔵したコルゲートチューブとモルタルとの付着性能に関する基礎研究(その2)

Bond Properties between Corrugated Tube Encased Reinforcement Bar and Mortar (Part 2)

片側引抜き試験 補強効果 圧縮強度
曲げひび割れ 最大曲げモーメント会員外 ○小島 圭人* Keito KOJIMA
同 野尻 加津也* Katsuya NOJIRI
同 重村 哲郎* Tetsuro SHIGEMURA
正会員 山本 貴正** Takamasa YAMAMOTO

1. はじめに

1.1 背景・目的

前報¹⁾に引き続き、幅広い分野で使用されている安価なかつ錆びないプラスチック樹脂製のコルゲートチューブ(以下、CT)の芯に無被覆鉄筋を配置し、隙間にグラウト材を充填した補強筋(以下、鉄筋内蔵CT)の付着性能の基礎的資料を得ることを目的として、内径が使用する鉄筋D10の外径に近い公称内径10.4mmのCTを用いた鉄筋内蔵CTとモルタルとの付着性能について、片側引抜き試験の引抜き荷重と単純梁曲げ試験の曲げ荷重に関する実験を通じて検討している。併せて、単純梁曲げ試験結果には、曲げ載荷形式が影響するため、このことについても検討している。

1.2 既報の研究成果

既報¹⁾では、鉄筋内蔵CTで補強したモルタルの付着性能について検討している。鉄筋はD10を使用し、CTの公称直径は17.5mmである(後掲図-1参照)。既報で得られている知見を次に示す。1)鉄筋内蔵CT補強モルタルの付着割裂破壊時の付着応力度の標本平均は、CTなしの無被覆鉄筋と比較して低い。これは、引張応力が作用するかぶり厚が影響していると考えられる²⁾。2)鉄筋内蔵CT補強モルタルの曲げ試験における第1ピーク(後述3.3参照)は、モルタルの曲げひび割れ発生時に生じている可能性がある。第1ピーク後の荷重劣化は、モルタルの曲げひび割れ発生で、曲げ引張力の鉄筋の負担が増え、圧縮縁から中立軸までの距離が小さくなるのが起因していると考えられる。3)鉄筋D10が中央に配置されたモルタルの最大曲げモーメントに及ぼすCT有無およびCT径それぞれの影響は表れにくい。同一断面寸法かつ鉄筋径の補強モルタルは、鉄筋内蔵CTのCT径が大きいほど、かぶり厚補強筋径比が小さくなり付着割裂破壊

時の付着応力度は低くなるが、付着区間表面積は大きくなる。それゆえ曲げ荷重に関する無被覆鉄筋と鉄筋内蔵CTによる補強モルタルの補強効果比(後述3.3参照)の差は表れにくい。

2. 実験概要

2.1 実施試験

モルタルの強度レベルおよびCT有無を実験要因とした片側引抜き試験を実施している(以下、実験シリーズI)。またCT有無を実験要因とした単純梁曲げ試験を実施している(以下、実験シリーズIII)。併せて、無被覆鉄筋補強モルタルを対象として、単純梁曲げ試験結果に及ぼす曲げ載荷形式を実験的に検討している(実験シリーズII)。曲げ載荷形式は、三等分点と二等分点である。

2.2 試験体使用材料

(1) 鉄筋・コルゲートチューブ

CTは市販のポリプロピレン製(スリット無)の図-1に示す公称径14.1mmを使用した。図には参考のため既報の公称径17.5mmについても示してある。図に示すように、公称径14.1mmと17.5mmは、ピッチと山幅も異なる。鉄筋は市販の呼び名D10の異形棒鋼を使用した。これは既報¹⁾と同一ロッドである。

(2) セメント硬化体

グラウト材とモルタルに使用したセメントは普通ポル

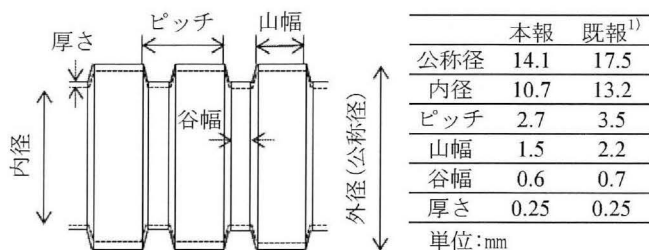


図-1 コルゲートチューブ(CT)の寸法

* 愛知工業大学工学部建築学科 本科生

** 愛知工業大学工学部建築学科 准教授 博士(工学)

Undergraduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.

トランド（密度：3.15g/cm³，比表面積：3250cm²/g），細骨材は実験シリーズⅠでは川砂（表乾密度：2.58g/cm³，吸水率：1.45%），その他のシリーズは山砂（表乾密度：2.55g/cm³，吸水率：1.61%）である。

2.3 試験体作製

(1) 鉄筋内蔵 CT

鉄筋内蔵 CT は，既報¹⁾と同様に塩ビ管を使用して作製した。グラウト材はセメントペーストとし，セメント水比は2.5である。内径50mm・内高100mmの鋼製型枠を使用して，グラウト材の管理用試験体を作製した。

(2) 母材モルタル

モルタルのセメント水比は質量比で実験シリーズⅠでは1.5，その他は1.7，砂セメント比は実験シリーズⅠでは質量比で3.5，その他は体積比で3.0とした。内径100mm・内高200mmの鋼製型枠を使用して，母材モルタルの管理用試験体を作製した。

(3) 引抜き試験体

引抜き試験体の作製は，主に JSTMC 2101（以下，JSTM）に準拠した。なお，試験体寸法は既報¹⁾と同様に長手100mm，短手39mmである。CTの付着力は，引抜き荷重を鉄筋のみに与え，グラウト材を介して伝達させている。

(4) 曲げ試験体

曲げ試験体の作製は，既報と同一の方法である。なお，試験体寸法は100mm×100mm×400mmの長方形である。

2.4 試験方法

(1) 引抜き試験

最大付着応力度(τ_{max})を次式で算出した。

$$\tau_{max} = \frac{P_{max}}{S} \quad (1)$$

ここに， P_{max} ：最大引抜き荷重， S ：付着区間の表面積（以下，付着区間表面積），

JSTM に準拠する片側引抜き試験において，降伏荷重に相当する0.2%D付着応力度は，次式で算出した。

$$\tau_{0.2\%} = \frac{P_{0.2\%}}{S} \quad (2)$$

$P_{0.2\%}$ ：すべり量が0.2%D時の引抜き荷重

すべり量0.2%Dは，付着長の設計値と観測値の差の影響が生じないように，付着長さの観測値(l_a)を用いて，次式で算出した。

$$0.2\%D = \frac{0.002l_a}{4} \quad (3)$$

また，靱性能の指標として，次式として定義する付着割裂伸び率(ϕ_{sp})を使用した。

$$\phi_{sp} = \frac{\delta_u}{0.2\%D} \quad (4)$$

σ_u ：最大引抜き荷重時のすべり量

(2) 曲げ試験

単純梁のスパン100mmの三等分点曲げ試験およびスパン150mmの二等分点曲げ試験を実施した。試験体中央に変位計を設置し，たわみを測定している。

3. 実験結果・考察

3.1 材料試験

表-1に，セメント硬化体の材料試験結果を示す。同表より，各実験シリーズともに，グラウト材の圧縮強度の標本平均（本節では以下，圧縮強度）は，母材の圧縮強度と比較して高いことがわかる。なお，グラウト材と母材の圧縮強度の差が最も小さい実験シリーズⅡにおいて，CT内周長さとグラウト材の圧縮強度の積は，CT外周長さと母材の圧縮強度の積と比較して大きい。このことから，鉄筋内蔵CTの最大付着応力度は，母材で決定すると考えられる。なお，実験シリーズⅠのセメント硬化体を除き，圧縮強度の標本変動係数は，レディミクストコンクリートにおいて良好な管理がなされているかの目安となる上限値10%以内である。

3.2 片側引抜き試験

(a) 最終破壊状況

全ての引抜き試験体の最終破壊は，母材モルタルの付着割裂である。鉄筋内蔵CTと母材モルタルの割裂面の例を写真-1に示す。

同写真より，母材モルタルの割裂面に付着していたCTの表面凹凸の痕跡が認められる。なお，グラウト材は，

表-1 セメント硬化体の材料試験結果

用途	材齢	密度		圧縮強度		実験		
		標本平均	標本平均	標本平均	標本変動係数	シリーズ		
		(g/cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(%)	I	II	III
母材	4週	2.12	16.7	11.1		○		
グラウト材	4週	1.99	51.5	13.0		○		
母材	12週	2.14	41.5	2.36			○	
母材	4週	2.18	42.1	2.20				○
グラウト材	12週	2.01	56.3	5.33			○	○

下線：10%超



公称径14.1mmのCTの表面凹凸の痕跡

写真-1 付着割裂破壊した引抜き試験体の割裂面

全ての鉄筋内蔵 CT を有する試験体に対し、目視にて荷重端側において損傷していないことを確認している。

以上より、また前述 3.1(a)を踏まえ、鉄筋内蔵 CT を有する試験体は、CT 外周の付着性能で最大付着応力度が決定するとして、式(1)の付着区間表面積を CT の外周表面積とした。

(b) 鉄筋の付着応力度と母材の圧縮強度の関係

図-2 に、鉄筋と母材モルタルの各付着応力度と母材圧縮強度の標本平均の関係を併せて示す。0.2%D 付着応力度の括弧内は、標本変動係数を表している。

同図より、母材圧縮強度の標本平均が高いほど、最大付着応力度の標本平均が高くなることがわかる。これは既往研究と同一の傾向である。なお、最大付着応力度と母材圧縮強度の相関係数は 0.95 である。一方、0.2%D 付着応力度については、このような傾向は認められない。後者については、標本変動係数が影響していると考えられる。なお、母材圧縮強度 42.1N/mm^2 の 0.2%D 付着応力度の標本変動係数は、既往研究で計測されている標本変動係数よりも高い。

(c) 鉄筋の付着伸び率と母材の圧縮強度の関係

図-3 に、鉄筋と母材モルタルの付着伸び率と母材圧縮強度の標本平均の関係を併せて示す。括弧内は、標本変動係数を表している。

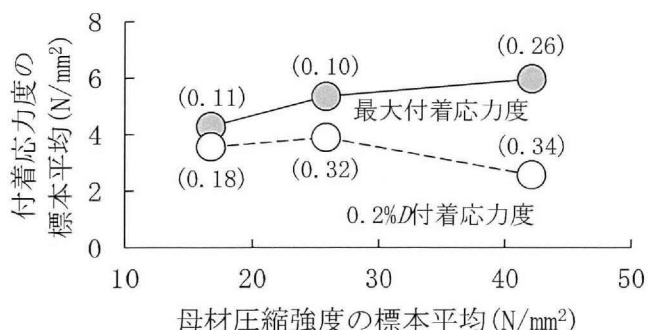


図-2 最大・0.2%D付着応力度

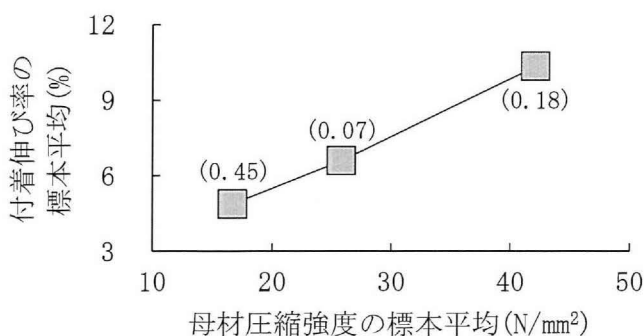


図-3 付着伸び率

同図より、母材圧縮強度の標本平均が高いほど、付着伸び率の標本平均が高くなることがわかる。なお、付着割裂伸び率と母材圧縮強度の相関係数は 0.99 である。

(d) 付着性状に及ぼす CT の影響

図-4 に、本研究の試験体を対象とした最大付着応力度、0.2%D 付着応力度および付着割裂伸び率に及ぼす CT 有無の影響をそれぞれ併せて示す。縦軸は、これら付着性状の各指標の CT なしに対する CT ありである。

同図に示すように、CT ありの各指標ともに CT なしと比較して、低いことが認められる。これは既往研究²⁾の通常鉄筋の引抜き試験の結果と同様に、これは引張応力が作用するかぶり厚が影響していると考えられる。

3.3 曲げ荷重

(a) 最終破壊状況

補強モルタルの曲げ試験体の最終破壊は、全て母材モルタルの付着割裂である。併せて三等分点曲げ試験は等モーメント区間において、一点集中曲げ試験は荷重載荷点付近で、曲げひび割れが生じている。これらの例を写真-2(a)(b)に示す。なお、試験中、CT 有無ともに、最大曲げ荷重付近で、曲げひび割れを目視で観察した。

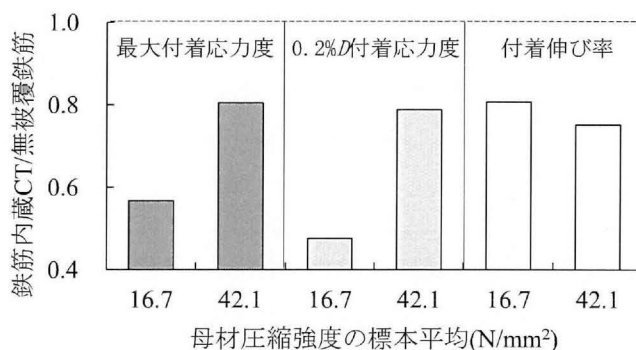


図-4 付着性能に及ぼすCT有無の影響

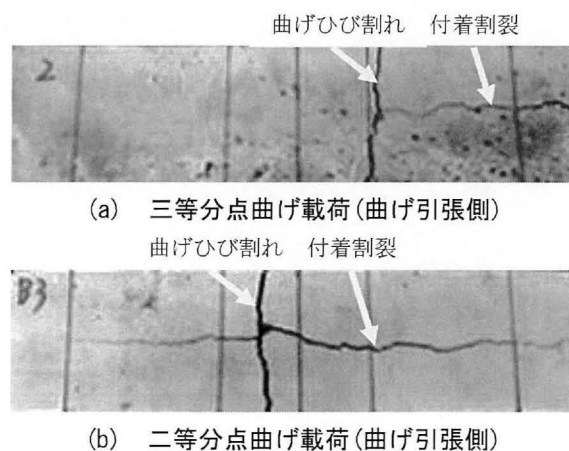


写真-2 曲げ試験体の最終破壊状況の例

同写真に示すように、三等分点曲げ試験は、一点集中曲げ試験と異なり、破壊状況が左右対称ではなく左右非対称である。このことから、三等分点曲げ試験は、球座を介して曲げ载荷していることも踏まえると、破壊時の左右の支点反力に差が生じていると考えられる。以上を踏まえ、鉄筋内蔵 CT 補強モルタルでは、既報と同様に、一点集中曲げ载荷試験を実施した。

(b) 曲げモーメントと中央たわみの関係

図-5 に、補強モルタルの曲げモーメント(M)と中央たわみの関係の例を示す。縦軸は、モルタル単体の最大曲げモーメント(M_{cr})で除してある。

同図に示すように、曲げモーメントと中央たわみの関係は、最大曲げ荷重到達まで、荷重が劣化した後に再び上昇する現象が生じている。ここでは、その極大値を発生順に第1, 2... n ピークと呼ぶ。発生回数 n は、同一条件下での試験体においても異なる。なお、第1 ピークは、既報と同様に、モルタル単体のひび割れモーメント付近で生じている。

(c) 第1 ピーク時の曲げモーメント

図-6 に、各補強モルタルの標準化した第1 ピーク時の曲げモーメント(M_{m1})の観測値と各種要因の関係を示す。標準化において、平均値および標準偏差それぞれ無筋モルタルの最大曲げモーメントの標本平均および標本標準偏差を使用している。なお、明確な第1 ピーク時の曲げモーメントが認められる試験体を対象としている。

同図より、各補強モルタルともに、縦軸は標準化した第1 ピーク時の曲げモーメントは、 ± 2 に存在している、換言すると、無筋モルタルの最大曲げモーメントの $m \pm 2s$ に存在していることがわかる。これは CT 公称径 17.5mm 以上を対象とした既報と同じ傾向である。

(d) 最大曲げモーメント(本実験)

表-2 に、本実験の無筋モルタルの最大曲げモーメントに対する各種補強モルタルの最大曲げモーメント(以下、補強効果比)が示してある。なお、通常鉄筋で補強されたモルタルの補強効果比とその鉄筋内蔵 CT の平均値の差は、有意水準 0.05 であるとはいえない。これは CT 公称径 17.5mm 以上を対象とした既報と同じ傾向である。

4. おわりに

本報で得られた知見を、次のように整理する。

- 1) CT ありの最大付着応力度、0.2%D 付着応力度、および付着伸び率ともに CT なしと比較して、低いことが認められる。これは引張応力が作用するかぶり厚が影響していると考えられる。
- 2) 各補強モルタルともに、第1 ピーク時の曲げモーメントは、無筋モルタルの最大曲げモーメントの m (標

表-2 最大曲げモーメント(補強モルタル/無筋モルタル)

曲げ载荷形式	CT	母材モルタル	補強効果比		P値
		曲げ強度 標本平均(N/mm ²)	標本平均	標本標準偏差 (%)	
三等分点	無	4.18	4.38	24.3	0.461
二等分点	無	6.69	2.17	13.4	
	有		2.24	14.7	

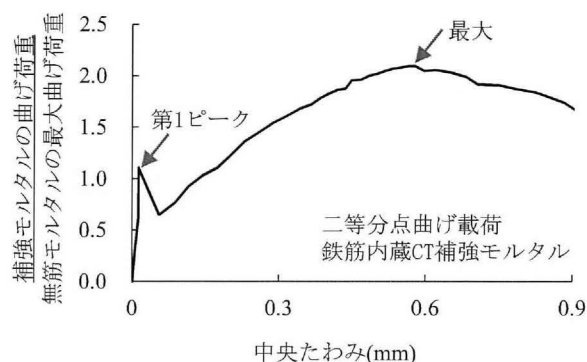


図-5 曲げ荷重-中央たわみ関係の例

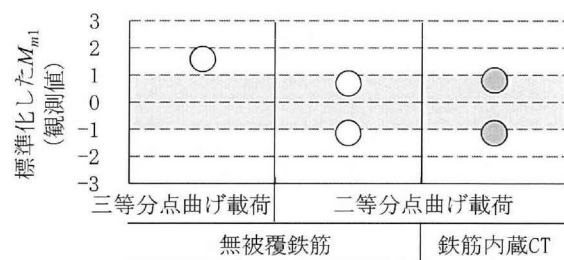


図-6 第1 ピークの曲げモーメントの観測値

本平均) $\pm 2s$ (標本標準偏差) に存在している。これは CT 公称径 17.5mm 以上を対象とした既報と同じ傾向である。

- 3) 通常鉄筋で補強されたモルタルの補強効果比とその鉄筋内蔵 CT の平均値の差は、あるとはいえない。

謝辞

本稿の研究成果は、2017 年度公益財団法人内藤科学技術振興財団研究助成および 2019 年度愛知工業大学研究特別助成の支援による。

参考文献

- 1) 山本貴正、大畑卓也、山田和夫：鉄筋を内蔵したコルゲートチューブとモルタルとの付着性能に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 41、No. 2、pp. 1123-1128、2019
- 2) 神野晴夫、藤井栄、森田司郎：割裂を伴う付着特性の寸法効果に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、構造 II、pp. 747-748、1986. 8